



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU V SOUČASNOSTI - PROBLEMATIKA VOSKOVÝCH MODELŮ

PRESENT STATE OF INVESTMENT CASTING TECHNOLOGY - WAX PATTERNS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ZDENĚK PROCHÁZKA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN HORÁČEK, CSc.

BRNO 2009



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Zdeněk Procházka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

**Technologie vytavitelného modelu v současnosti - problematika voskových modelů**

v anglickém jazyce:

**Present state of investment casting technology - wax patterns**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled nejnovějších trendů v technologii vytavitelného modelu z hlediska používaných surovin a zařízení se zaměřením na voskové modely.

Cíle bakalářské práce:

Provedení literární rešerše zaměřené na nejmodernější zařízení a suroviny používané v technologii vytavitelného modelu se zaměřením na výrobu voskového modelu.

Seznam odborné literatury:

1. BEELEY, PR. and SMART, RF. Investment Casting. 1st ed. Cambridge: The University Press, 1995. 486 p. ISBN 0-901716-66-9.
2. DOŠKÁŘ, J., aj. Výroba přesných odlitků. 1. vyd. Praha: SNTL, 1976. 315 s. DT 621.746.
3. CAMPBELL, J. Castings. 1st ed. Oxford: Butterworth - Heinemann, 1991. 288 p. ISBN 0-7506-1072.
4. HORÁČEK, M. Technologie vytavitelného modelu - technologie pro nové tisíciletí. Slévárenství. Říjen 2001, roč. XLIX, č. 10, s. 570 –580. ISSN 0037-6825.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 26.11.2008

L.S.

---

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia je na téma Technologie přesného lití pomocí vytavitelného modelu se zaměřením na problematiku voskového modelu. Na základě literární studie byla vytvořena rešerše zaměřená na nejmodernější zařízení a suroviny používané v této technologii. Zahrnuje také zkoušení voskových směsí.

**Klíčová slova**

Odlévání, model, vosk, pryskyřice

**ABSTRACT**

The subject dealt with in the bachelor degree thesis covers technology of investment casting with a special focus to the problem of wax patterns. Based on expert analysis, this case study focuses on the most advanced facilities and materials used for this particular phase of technology as well as basic methods of wax materials testing.

**Key words**

Casting, pattern, wax, resin

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PROCHÁZKA, Z. *Technologie vytavitelného modelu v současnosti-problematika voskových modelů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 3s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Milan Horáček CSc.



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologie vytavitelného modelu v současnosti - problematika voskového modelu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28. května 2009

.....  
Zdeněk Procházka





## Poděkování

Děkuji tímto prof. Ing, Milanu Horáčkovi CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.



**OBSAH**

<b>Abstrakt.....</b>	<b>5</b>
<b>Prohlášení.....</b>	<b>7</b>
<b>Poděkování.....</b>	<b>9</b>
<b>Obsah.....</b>	<b>11</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>13</b>
<b>2 Technologie Přesného lití na vytavitelný model .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Úvod.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Historie.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Popis procesu metody vytavitelného modelu.....</b>	<b>17</b>
<b>3 Problematika voskového modelu .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Druhy vosků používané v současnosti .....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Složení modelových směsí .....	19
3.1.2 Rozdělení voskových směsí podle způsobu použití .....	21
<b>3.2 Zařízení pro výrobu voskového modelu .....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Formy a jejich materiály na výrobu voskových modelů .....	23
3.2.2 Výroba matečné formy.....	23
3.2.3 Materiály matečných forem.....	26
<b>3.3 Způsoby výroby voskového modelu .....</b>	<b>27</b>
3.3.1 Výroba vstřikováním do formy .....	27
3.3.2 Gravitační lití modelů .....	30
3.3.3 Sestavování voskových modelů.....	30
3.3.4 Regenerace a rekonstituce vosků.....	33
<b>3.4 Vady voskového modelu.....</b>	<b>35</b>
3.4.1 Rozměrová změna voskového modelu .....	35
3.4.2 Deformace voskového modelu .....	37
<b>4 Závěr: .....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>41</b>



## 1 ÚVOD

S postupem doby a druhu technologií jsou na výrobky kladeny čím dál tím větší nároky, a to jak na jejich funkčnost, tak i na přesnost, odolnost, velikost a pořizovací náklady. Mnohé nároky jsou kladeny spíše na objem výrobku, jiné se týkají pouze povrchu. Při výrobě určitého tvaru výrobku existuje řada různých technologií, ale u jiného existuje pouze specifický postup výroby. Lidská společnost se vždy snažila a bude se snažit vyvíjet a zdokonalovat, k tomu bez pochyby přispívá rozvoj vědy a techniky.

Práce se zabývá a popisuje technologii přesného lití pomocí vytavitelného modelu, nebo též na ztracený vosk. Nejprve se zabývá podstatou přesného lití, poté je postupně po kapitolách rozebrán celý technologický proces, do kterého náleží výroba na voskové modely, sestavování voskových modelů, výroba skořepin, vytavování voskových modelů, vypalování skořepin, tavení, odlévání, odstraňování keramiky, oddělování odlitků, dokončovací operace a nakonec kontrola odlitků. Další kapitoly jsou zaměřeny na samotnou problematiku při výrobě voskového modelu a postupné procesy s ním.



## **2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO LITÍ NA VYTAVITELNÝ MODEL**

### **2.1 Úvod**

Metoda vytavitelného modelu patří mezi metody přesného lití, která dnes pro svou univerzálnost a rozšířenost zastává klíčovou pozici na poli moderních technologií lití kovů. Lze ji začlenit mezi technologie “near net shape” (produkty blízké hotovým výrobkům). Při výrobě součástí se stále prosazují vyšší požadavky na jakost, kvalitu povrchu, rozměrovou přesnost, vnitřní čistotu, vyšší funkční parametry a to při silném tlaku na výrobní náklady. U některých strojních součástí se musí stále uplatňovat progresivní výrobní způsoby strojírenské metalurgie, které jsou schopny uведенé požadavky splňovat. Mezi progresivní způsoby lze zařadit také přesné lití vytavitelným modelem, jenž při efektivním uplatnění umožňuje podstatné úspory materiálu a snižuje použití dokončovacích operací. Na vytavitelný model se dají odlévat téměř všechny materiály. Lze odlévat dokonce i velice reaktivní materiály jako například titan a jeho slitiny. Dále nabízí možnost výroby odlitků z obtížně obrobitelného materiálu, kde je výroba součásti jinou technologií mimořádně nákladná, nebo dokonce zcela nemožná. V technické literatuře se uvádí, že metody přesného lití nabízejí konstruktérům nejširší možnost ve volbě materiálů.[1]

## 2.2 Historie

Historie lití pomocí vytavitelného modelu sahá až do období 4000 př.n.l. do oblasti starověké Číny, postupně se rozšiřovala do Indie, Egypta a do Evropy. Tato technologie byla používána i Aztéky. Na obr. 1 jsou ukázky artefaktů vyrobených touto metodou, jedná se o šperky, sochy atd.

Průmyslové využití této technologie nastal až ve 20.století. Druhá světová válka a velký tlak na výrobu součástí všeho druhu zapříčinila velký rozmach všech technologií, výjimkou nebylo lití na vytavitelný model, který v sobě skrýval mnoho neznámého.[2]

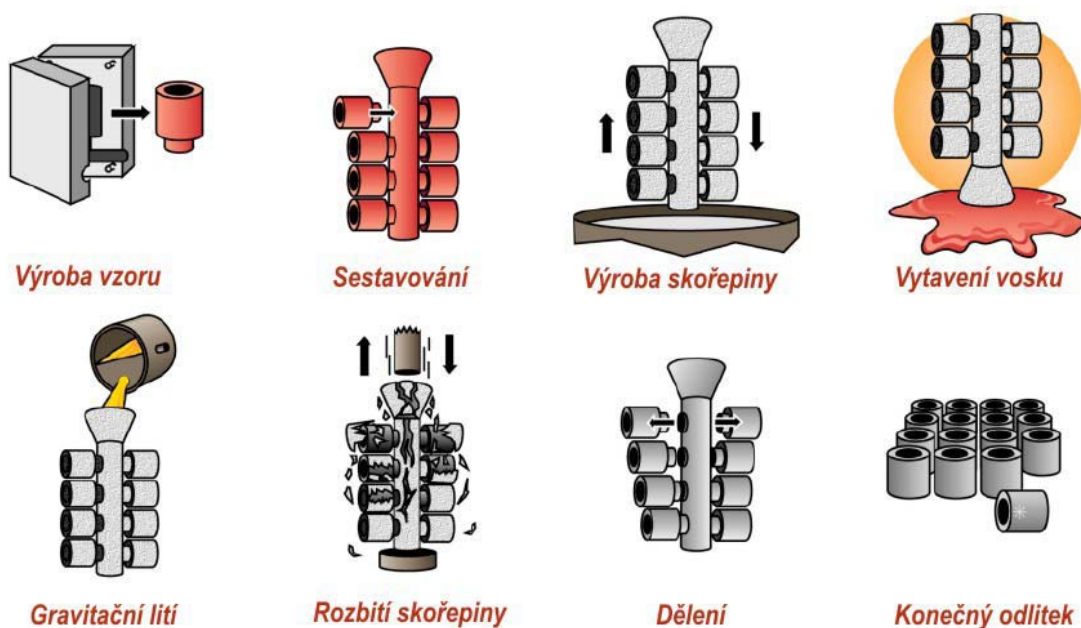
V Československu se tato technologie začala používat od roku 1957, kdy byla postavena ve Zlíně první speciální slévárna s výkonem 250t odlitků ročně.



Obr. 1 Stříbrná socha Persea z hlavou Medusy(1450) a zlatý hřeben(400n.l.).[2]



## 2.3 Popis procesu metody vytavitelného modelu.



Obr.2 Jednotlivé části procesu.[3]

Výrobní proces je rozložen do několika fází, které jsou popsány na obr.2.

Základním prvkem této metody je model, vyrobený z voskové směsi tzv. vzor. Ten se vyrábí vstřikováním rozehřátého vosku do matečné formy. Použití modelové zařízení má významný vliv na kvalitu, ale hlavně na cenu.

Po vyrobení, opravách a očištění voskových modelů jsou modely (vzory) napojeny na centrální vtokový kůl nebo zabudovány do vtokové soustavy. Vtoková soustava je většinou vyrobena z jiného druhu vosku, než je samotný vzor, protože na ní nejsou kladeny jakostní požadavky.

Tento sestavený voskový celek je následně obalen do keramického obalu a vzniká tzv. skořepina. Ta se vyrábí namočením voskového modelu v obalové hmotě a následné obalování žárovečným materiálem o vhodné zrnitosti. Cyklus se opakuje tolikrát, dokud nemá obal požadovanou tloušťku, aby vydržel následné operace. Tento cyklus je automatizován.

Z řádně vysušené a vytvořené skořepiny se odstraní vosková hmota. Nejčastěji se používá přehřátá pára. Po odstranění vosku se musí skořepina vysušit a následně vyžít. V závěru dochází ke konečné kontrole, očištění, zaizolování a po zahřátí je skořepina připravena k odlévání.

Po odlití, ztuhnutí a vychlazení se skořepina odstraní od odlitku tryskáním nebo otřesením. Poté se odlitek oddělí a pak se omílají v bubnech nebo tryskají.

Po očištění jsou odlitky podrobeny kontrolám.[3]

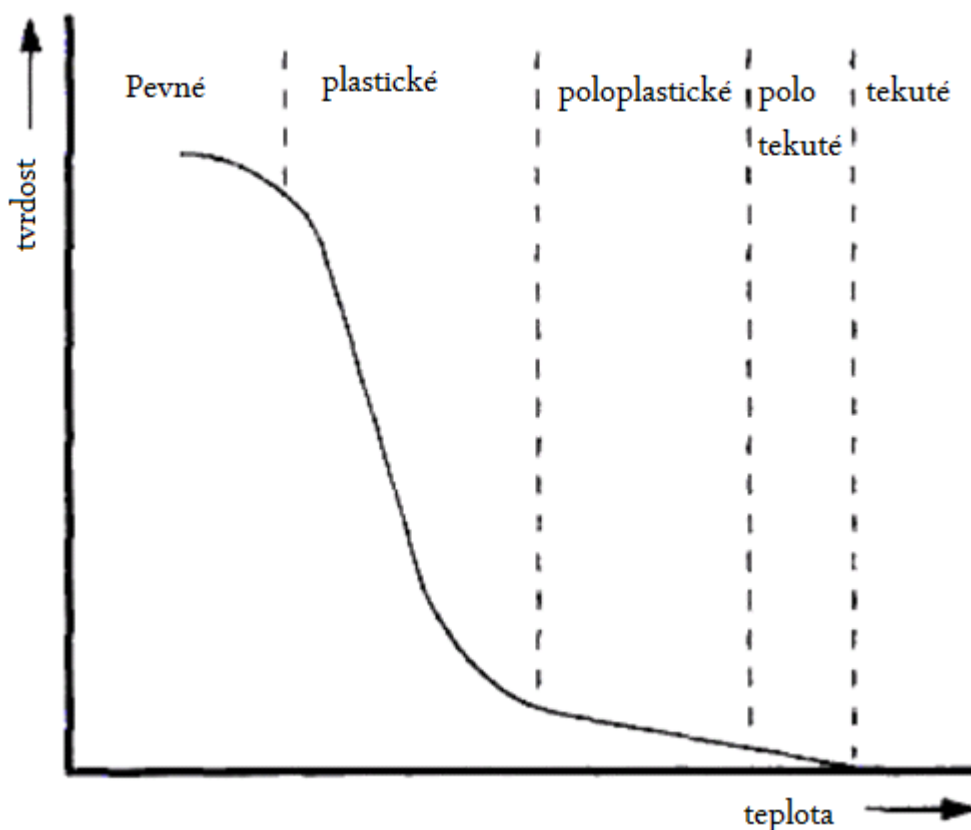
### 3 PROBLEMATIKA VOSKOVÉHO MODELU



Obr. 3 Ukázky voskových modelů.[2]

### 3.1 Druhy vosků používané v současnosti

Vosk je nejstarší využívaný termoplastický materiál. Počátky se dají nalézt ve starověké Číně a Egyptě. Historie je vesměs spojena s uměleckými předměty. Nejprve se používal včelí vosk, postupem času se vyvíjely metody výroby umělých voskových směsí.



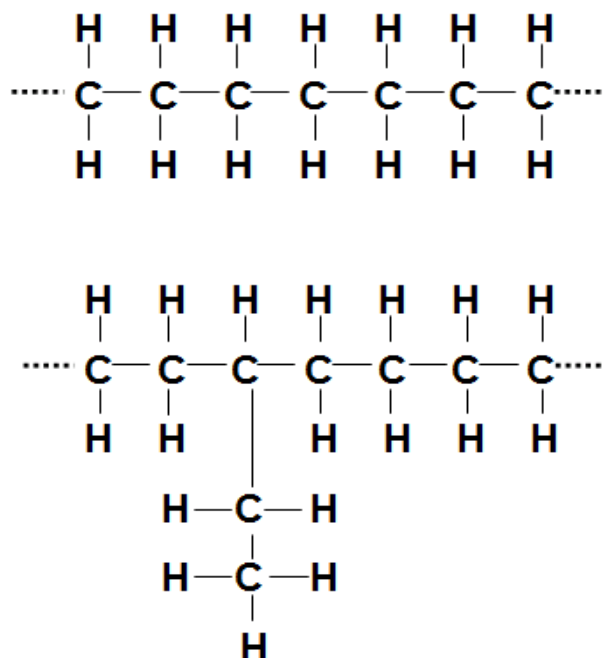
Obr.4. Závislost tvrdosti vosku na teplotě.[2]

#### 3.1.1 Složení modelových směsí

Moderní voskové směsi jsou sloučeniny více komponentů, jako je syntetický vosk, přírodní vosk (uhlovodík), přírodní vosk (ester), přírodní a syntetická pryskyřice, montánní vosk, organické plnivo a voda. Existuje více variant takových sloučenin, které splňují požadavky; vlastnosti kladené na voskové směsi, jako je bod tavení, tvrdost, viskozita, roztahování/smršťování.

##### Přírodní uhlovodíkový vosk

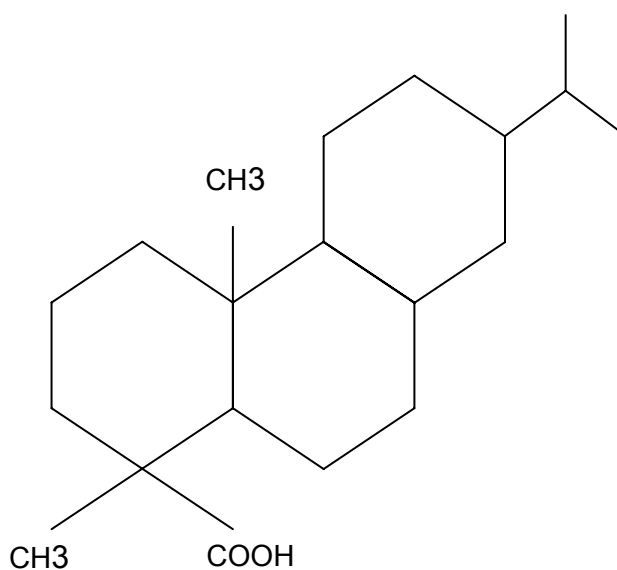
Je to jednoduchý uhlovodík, který má v krystalické mřížce přímý řetězec obsahující v řadě 20-36 atomů uhlíku. Teplota tavení tohoto vosku je 32-66°C. Na obr. 5 je zřejmá struktura.



obr. 5 Struktury uhlovodíkového vosku.[4]

Pryskyřice

Rozdělujeme tři typy pryskyřic. Na přírodní, syntetickou a uhlovodíkovou. Každá z nich má své specifické vlastnosti. Na obr. 6. je vidět struktura přírodní pryskyřice. Ta v sobě obsahuje směs organických sloučenin. Rozdíl od vosků je hlavně v teplotách měknutí, ta se pohybuje od 80 do 180°C. Syntetická pryskyřice má rozmezí teplot měknutí od 25 do 190°C. Uhlovodíková od 18 do 178°C.



Obr. 6 Struktura pryskyřice.[4]

### Plnidla

Plnidlo do voskových směsí zlepšuje vlastnosti výsledné směsi, jako je zabraňování kavitace nebo zvýšení plynulosti vstřikování směsí do forem. Jako plnidla lze použít voda, práškový materiál, kyseliny. Všechny materiály plnidel musí být nereakční s materiálem použitým v keramické skořepině.[2]

### **3.1.2 Rozdělení voskových směsí podle způsobu použití**

#### Vosky na modely

Na vosky na modely (obr. 7) jsou kladeny velké nároky na vlastnosti. Povrch by měl být co nejdokonalejší a teplotní roztažnost co nejmenší. Hmoty na výrobu voskových modelů by dále měla mít dostatečnou pevnost, tvrdost a stabilitu, nízké procento popelu, vhodnou viskozitu, nesmí se lepit na stěny kovové formy, nesmí reagovat s obalovými hmotami, musí ztuhnout během krátké doby po vstříknutí. Vosky na modely dělíme na tři skupiny:

- čistě (neplněné)
- plněné
- emulgované

Neplněný vosk je složen z různých druhů vosků nebo pryskyřic. Povrch těchto modelů je většinou hladký a lesklý

Plněné vosky Mají základní materiál podobný jako výše uvedené vosky, avšak do směsi je přidáváno míchané inertní práškové plnivo, nerozpustné v základním vosku. Plnivo zvyšuje stabilitu směsi a snižuje její kavitaci. Přidáním plnidla se zajistí kompletní shoření bez zanechání popele. Důležitá je jemná velikost částic plniva. Povrch modelů je oproti emulgovaným voskům nepatrně hrubší.

Emulgování se provádí vodou, která působí částečně jako plnivo. Složení je téměř shodné s výše uvedenými vosky. Tento vosk má velmi malou kavitaci a je s ním jednoduchá manipulace, ovšem musí být dodržena pravidla. Obsah vody je v rozmezí 7 až 12%. Povrch modelů z emulgovaného vosku je mimořádně hladký.[2]

### Vosky na vtoky nebo vtokové soustavy

Mají základní materiály podobné jako neplněné vosky, jsou smíšené pro zajištění požadavku na pevnost vtokové soustavy.

#### Adhesní vosky

Jsou lepivé vosky pro spojování modelů z podobných nebo nepodobných vosků. Primárně se používají pro spojování modelů a vtokových soustav.

#### Namáčecí vosky

Jsou velmi tekuté, proto mají schopnost téct do hůře dostupných míst, kde zaplňují otevřené spoje.

#### Opravné vosky

Opravné vosky tvrdé nebo měkké se používají pro opravu modelů nebo pro utěšňování vtokové soustavy.

### Vosky na jádra

Vosky na jádra se používají k utěšňování keramických jader vkládaných do modelu, zlepšují povrch a snižují možnost praskání.

#### Vodou rozpustné vosky

Vodou rozpustné vosky se používají pro vytvoření vnitřních tvarů tam, kde by bylo obtížné aplikovat jiné prostředky. Používají se jádra vkládána do dutiny formy před vstříknutím standardního vosku a následně (později) dojde k jeho rozpuštění, a tím dochází k dostatečnému zaplnění dutin.

#### Rekultivované vosky

Jedná se v podstatě o servis poskytovaný výrobcem vosků. Použité vosky ze slévárny jsou důkladně čištěny, míchány a uvedeny do původního stavu, poté jsou zpět vráceny do slévárny a znovu používány na vtokové soustavy a modely.[1]



Obr. 7 Vosky.[5]



## 3.2 Zařízení pro výrobu voskového modelu

### 3.2.1 Formy a jejich materiály na výrobu voskových modelů

Výroba modelového zařízení je první důležitou operací v technologickém sledu výroby přesných odlitků. Prvotním předpokladem pro výrobu přesního odlitku je přesný model s dokonalým povrchem a s přesně dodrženými rozměry. Ke zhotovení takového modelu je potřeba velmi přesně vyrobená forma. Tvar dutiny je shodný s budoucím tvarem součástky.

Modelové zařízení je kritickým faktorem mezi výrobcem a zákazníkem, použité zařízení má významný vliv na cenu a kvalitu obrobku. Volba výroby tohoto zařízení závisí na odhadovaném počtu vyrobených kusů, počet kusů v dávce, koncové použití odlitku a požadavky na kvalitu odlitku.

Formy na vytavitelný model by měly splňovat tyto požadavky:

- umožnit výrobu kvalitních zdravých modelů s bezvadným povrchem, bez ztaženin, vzduchových bublin, propadlin a ostatních povrchových vad a s požadovanou přesností rozměrů.

- doba nutná k setrvání odstříknutých modelů ve formě musí být co nejkratší.[2]

### 3.2.2 Výroba matečné formy.

#### Formy vyráběné obráběním

Jsou používány tam, kde jsou požadavky na velkosériovou produkci a dlouhou životnost, a proto výrobu odlitků požadující tu největší přesnost. Modely vyráběné v těchto formách jsou nejpřesnější, avšak jedná se o technologii nejvíce nákladnou. Výroba forem pro jednoduché modely bez vnitřních dutin je relativně nenáročná. Modely s vnitřními dutinami nebo tvarovým členěním, jejichž osy jsou například mimo dělicí rovinu, musí obsahovat výsuvná jádra, který vyžadují přesnou výrobu a náročné lícování ve formě viz obr. 8.

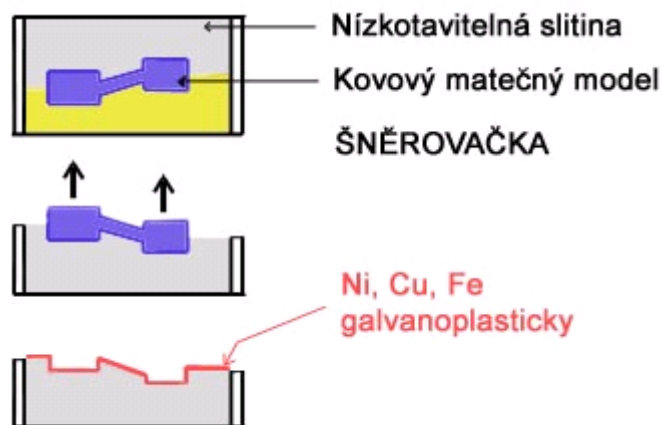


Obr. 8: Forma s výsuvnými částmi vyráběná obráběním.[3]

### **Formy vyráběné podle matečního modelu**

#### Formy vyráběné galvanoplasticky

Jsou vyráběny jako kovové skořepiny z niklu, mědi nebo železa v galvanické lázni. Tato skořepina se zaleje epoxidovou pryskyřicí. Tyto formy lze použít na komplikované a velmi přesné modely, jejichž hmotnost není příliš velká. Nehodí se pro výrobu modelů ze zářezy, otvory a hlubokými drážkami.



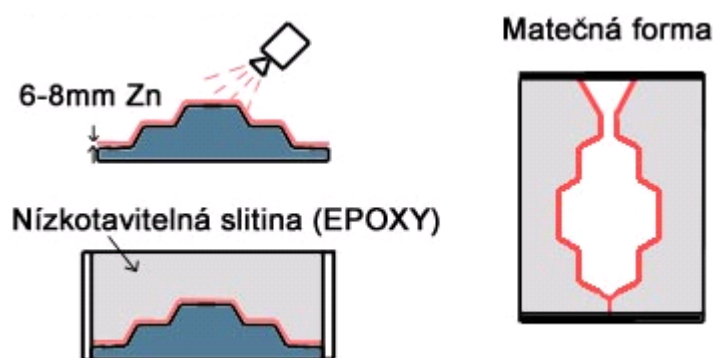
Obr. 9 Postup galvanoplastické výroby formy.[2]

#### Formy vyrobené metalizací

Jsou výbornou alternativou pro výrobu modelů tam, kde jsou požadavky na komplikované dělicí roviny a použití celokovové formy je příliš nákladné. Všeobecně je výroba modelů ve formách vyráběných metalizací rychlá a konzistentní podobně jako v celokovových formách. Základním principem výroby je vrhání roztavených částic kovu na mateční model metalizační pistolí



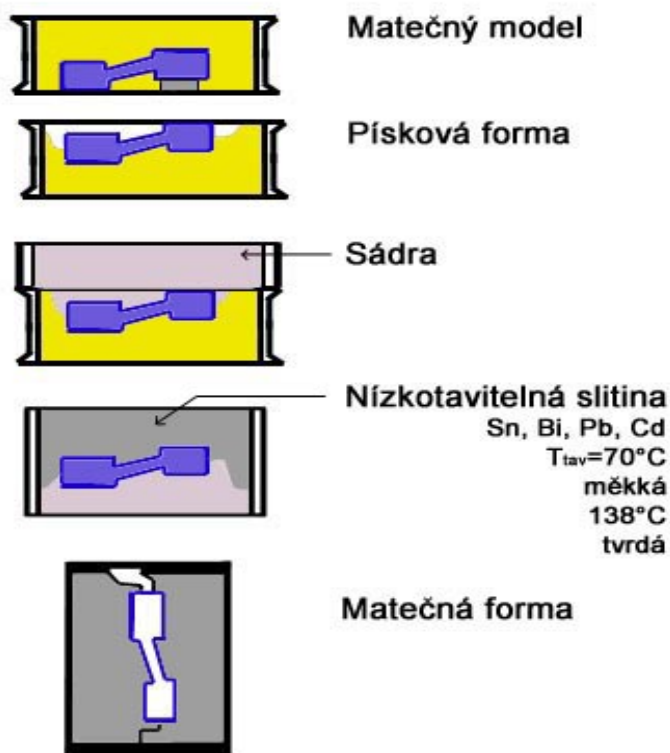
(obr.10), kde se kov taví plamenem či obloukem. Rozprášené tekuté částice jsou nosným plynem vrhány na základní materiál, kde se vlivem kinetické energie deformují, spojí se a vytváří pevnou souvislou vrstvu, která přesně reprodukuje všechny tvary. Tloušťka vrstvy je okolo od 3 do 8 mm v závislosti na druhu materiálu. Takto vzniklá kovová skořepina je zalita epoxidovou pryskyřicí plněnou kovovým práškem nebo nízkotavitelnou slitinou. Životnost forem je velmi vysoká.



Obr.10 Princip výroby matečné formy metalizováním.[2]

### Formy vyrobené odlitím

Formy jsou vyráběny zalitím matečního modelu plastickou hmotou, sádrou nebo silikonovým kaučukem. Životnost těchto forem není příliš velká. Tyto technologie se většinou používají pro kontrolu navržené technologie odlitku pro modely předmětů např. v bižuterii, kde není vyžadovaná přesnost a má být vyroben malý počet kusů (obr. 11).



Obr.11. Princip výroby matečné formy odlitím.[2]

### 3.2.3 Materiály matečných forem

Pro výrobu matečných forem se využívá celá řada různých materiálů v závislosti na požadované přesnosti vyrobeného voskového modelu.

Pro formy vyrobené obráběním se používá nejčastěji ocel nebo slitiny hliníku. Výhodou ocelových forem je hlavně menší náchylnost k deformacím a poškození, oprava je všeobecně jednoduchá vzhledem k tomu, že je ocel svařitelná. Hliník je možno obrábět jednodušeji a rychleji, to znamená, že hliníkové formy jsou méně nákladné. Výroba voskových modelů je znatelně rychlejší, protože hliník má lepší tepelnou vodivost. Formy z hliníku se snadněji instalují na lisovací stroj a celkově je manipulace lepší díky menší hmotnosti hliníku.

Nízkotavitelné slitiny mají výhodu v relativně rychlé a jednoduché výrobě formy. Mezi jejich nevýhody patří nepřiliš dlouhá trvanlivost, proto se používají u menšího počtu voskových modelů

Formy vyrobené ze zinkových slitin jsou tvrdší a lépe odolávají opotřebení a poškození ve srovnání s formami z nízkotavitelných slitin. Mají tedy i větší životnost a proto jsou používány na větší série.

Plastické hmoty se využívají zejména pro zalití skořepin vyrobených metalizací nebo galvanoplastikou, ale i jako samotné formy. Používá se dentakryl nebo epoxidová pryskyřice. Nevýhodou je menší přesnost a nižší tepelná vodivost. Trvanlivost forem z plastických hmot je nízká a tak jsou vhodné pro menší série.

Sádra se používá na výrobu jednotlivých modelů bez nároků na rozměrovou přesnost. Životnost formy je minimální a proto se používá při ověřování navrhované technologie výroby.

Silikonový kaučuk má hlavní výhodu v tom, že vyrobená forma je pružná a je možno vytvořit negativní úkopy, má krátkou dobu výroby a změny, úpravy a modifikace jsou lehce dosažitelné. Ale životnost forem je výrazně nižší a malá tepelná vodivost prodlužuje výrobní cyklus.



stlačí vstřikovací válec dle předem nastaveného tlaku vosk do vstřikovací jednotky. Vstřikovací trysky se přesunou dopředu a spojí s formou, poté se otevře vnitřní ventil trysky, kterým bude roztavený vosk proudit do formy. Stroj po vstřiknutí vosku dle působí tlakem dle předem určené doby výdrže, vosk ztuhne a zchladne až do stavu, v kterém může být vyjmut z formy. Na konci cyklu vstřikovací jednotka sníží tlak, otevře se forma a vyjme se model. Tento vstřikovací stroj je nejvíce používán v dnešních slévárnách přesného lití na vytavitelný model. Výhodou vstřikovacího stroje pracujícího s tekutým voskem je jednoduchost, která spočívá v čerpání vosku přes potrubí z centrálního zásobovacího systému do stroje, což má za následek snadné udržení stavu vosku ve stroji a minimální podíl lidských zásahů. Nevýhodou u těchto strojů pracujících s tekutým voskem je to, že při použití příliš horkých vosků se zvyšuje pracovní cyklus a tím se zvyšuje možnost výskytu staženin. Tento problém se dá zredukovat přidáváním různých plniv, které snižují staženiny ve vosku. Použití příliš studených vosků může být příčinou vzniku vzduchových bublin ve voskovém modelu.

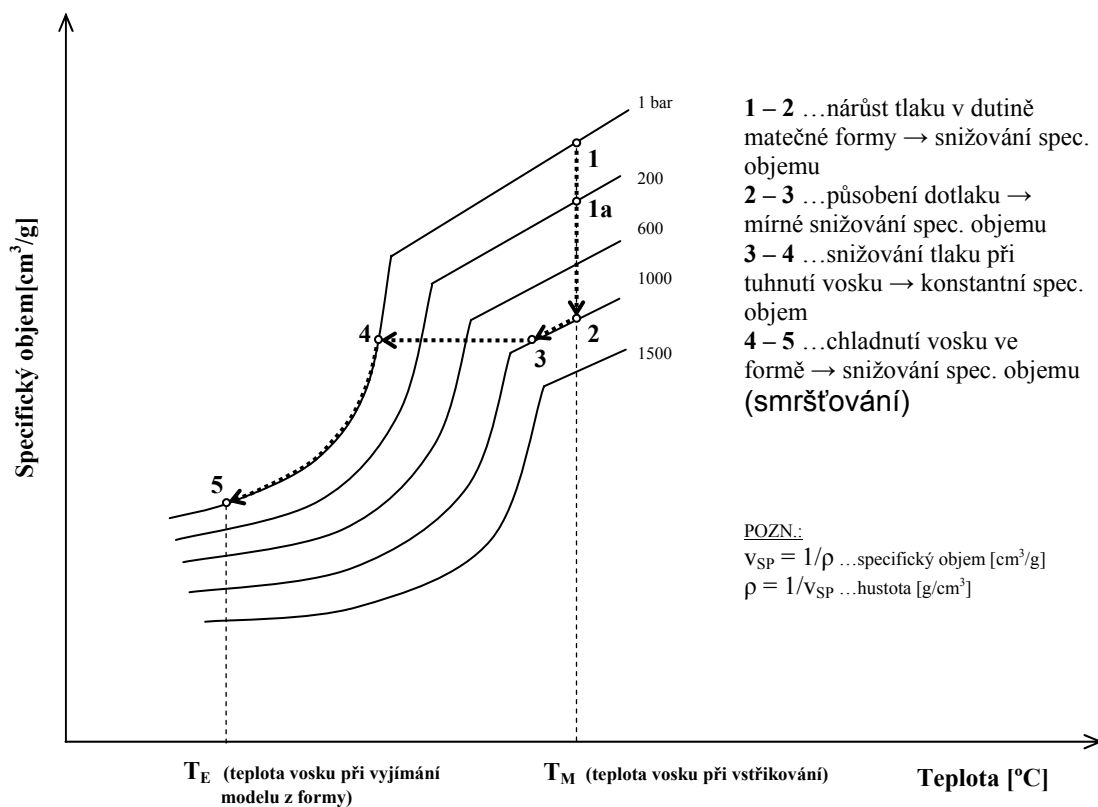
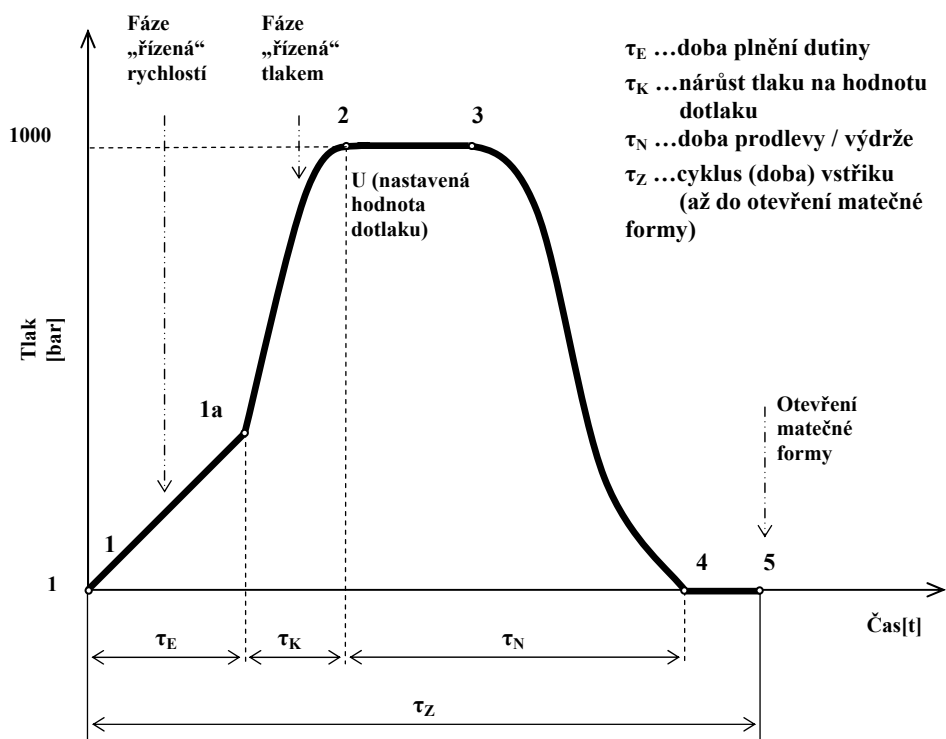
#### **Vstřikovací stroj pracující s kašovitým voskem**

Dnes jsou na trhu 2 typy strojů pracujících s kašovitým voskem. První je typ „kanystr“. Kanystr, nebo válec, je naplněn tekutým voskem a následně vložen do temperovací pece do té doby než vosk dosáhne určitého stavu pomocí předem nastavené teploty. Po splnění této podmínky je kanystr vložen do vstřikovacího stroje, který má stejnou teplotu jako temperovací pec. Kanystr je v podstatě vstřikovací válec, obsahující vstřikovací píst spojený s hydraulickým válcem, který je permanentně spojen se strojem. Po vložení kanystru do stroje a zapnutí příslušného ovládacího prvku začne hydraulický válec stlačovat vosk v kanystru, odkud se vosk dostává do vstřikovacích trysek a dále do formy. Druhý typ je hybridní stroj, který má dvě části zásobníku. Horní část zásobníku slouží k udržování tekutého vosku. Spodní část zásobníku obsahuje tepelný výměník, který vosk ochlazuje a zpět ho vrací do horního zásobníku, kde je vosk smíchán s teplejším voskem aby tak docházelo k vytvoření hladké pasty. Tento typ stroje musí být spojen se zásobovačem tekutého vosku, který udržuje horní zásobník stroje na požadované úrovni tak, aby celý zásobník stroje pracoval správně. Nevýhodou obou strojů je požadavek na temperovací pec.

#### **Vstřikovací stroj pracující s tuhým voskem**

Tento stroj používá předpřipravené ohřáté voskové polotovary, které jsou vkládány do vstřikovací komory. Polotovar je dále lisován pod tlakem přes vstřikovací sestavu a vstřikovací trysku do formy. Nevýhodou těchto strojů je ztráta přibližně 20% materiálu polotovaru pro zhotovení přijatelného voskového modelu.[2]

## VSTŘIKOVACÍ CYKLUS



Obr 13. Vstřikovací cyklus.[2]

Rozhodujícími parametry pro výrobu kvalitních voskových modelů, bez ohledu na typ stroje jsou:

- Teplota vosku ve vstřikovacím stroji – měla by být konstantní v celém stroji, tzn. teplota vosku v zásobníku by měla být stejná jako teplota vosku v trysce.
- Teplota formy.
- Vstřikovací tlak – měl by být dostatečně vysoký k zajištění kvalitního povrchu voskového modelu.
- Průtoková rychlost – je nejdůležitějším parametrem při vstřikování slabostěnných modelů nebo modelů s nepravidelnými tvary. Průtoková rychlost by měla být tak vysoká, aby vosk dostatečně rychle vyplnil formu, ale zároveň by měla být dostatečně pomalá k zabránění v turbulenci a vzniku vzduchových bublin.
- Doba vstřikování a doba výdrže - měla by být dostatečná k zajištění kvalitního povrchu voskového modelu.[2]

### 3.3.2 Gravitační lití modelů

Gravitační lití modelů je používáno jen velice zřídka a to většinou při výrobě pomocných modelů jako jsou například vtokové kanály, popř. lící soustava.

### 3.3.3 Sestavování voskových modelů

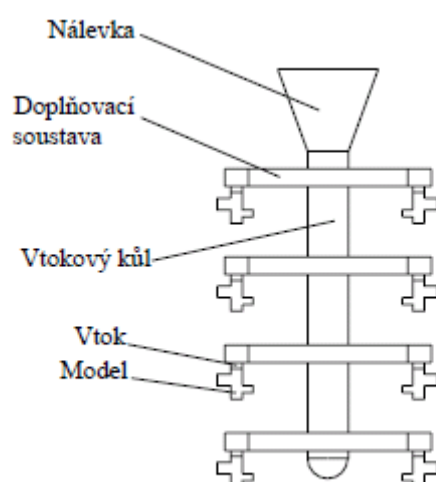
Modely se vyrábějí ve formách většinou jednotlivě a musí se připojit na vtokovou soustavu. Podle počtu modelů v jedné lící soustavě se rozlišují buď sestavy jednotlivých modelů nebo sestavy více modelů do tzv. stromečků.

#### Sestavování jednotlivých modelů

Používá se v případě rozměrnějších odlitků. Jsou to převážně odlitky u nichž velké nároky na kvalitu nebo rozměrovou přesnost vylučují použití jiné technologie. Vtoková soustava s různými druhy nálitků se vyrábí ve zvláštních formách a na model se připojí pájením nebo lepením.

#### Sestavování modelů do stromečku

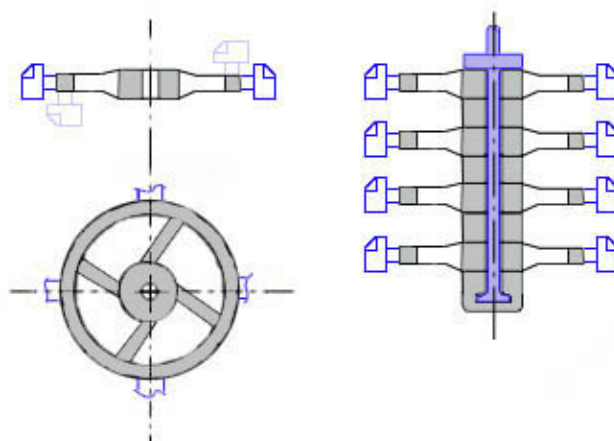
Stromeček se skládá z většího počtu modelů, spojených jednotlivými vtoky s vtokovou soustavou. Jednotlivé části stromečku jsou na obr. 14. Na obr. 15 jsou znázorněny dva druhy stromečkové sestavy.



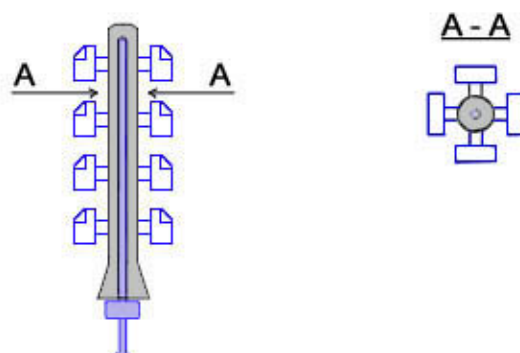
Obr. 14 Jednotlivé části stromečku.[1]

### Stromečkové sestavy

a) modely sestavené horizontálně - etážově



b) modely přímo na vtokový kanál



Obr. 15 Stromečkové sestavy.[2]

Modely se na vtokovou soustavu připojují buď lepením nebo pájením. Při pájení se modely připojí na vtokovou soustavu tak, že se mezi vtok modelu a vtokový systém vloží pájedlo, model se přitlačí na pájedlo, které je přiloženo na místo vtokového systému, kde bude model připojen. Po natavení dosedacích ploch se pájedlo vytáhne a model se přitiskne k vtokovému systému. Při lepení se užívá pistole, které ke spojení modelu a vtokového systému používá roztavené lepidlo, které je nanášeno na stykové plochy. Tvar stromečku by měl být navržen tak, aby byl k připojení modelů umožněn dobrý přístup, přičemž se nesmí při lepení či pájení poškodit modely, které jsou na stromečku již přilepeny. Z hlediska následující operace obalování by měli být modely na stromečku přilepeny dutinami dolů. Obalová hmota musí stékat, aby nedocházelo ke zvětšování tloušťky obalu v dutinách, která ovlivňuje nepříznivě posunutí tepelné osy následkem nahromadění žhavé keramiky. Vzdálenost mezi modely na stromečku nesmí být příliš malá, aby i po nanesení posledního obalu byla mezi jednotlivými modely mezera. Vzdálenost etáží musí být taková, aby bylo zajištěno dokonalé posypání obalů a sušení. Pro obalování a manipulaci se stromečkem (modelem) se používá rukojeti, která se zašroubuje do matice, zalité do nálitku nebo vtoku, pokud je v ose sestavy.

Sestavení modelů a vtoková soustava musí dovolit bezproblémové vytékání vosku při vytavování modelů ze skořepiny. Není-li možné vhodnou polohou modelu na stromečku dosáhnout dokonalého odstranění vosku, je potřeba k modelu připojit pomocný výfuk, který umožní odstranění vosku z formy. V případě že ani pomocný výfuk nestačí k dokonalému odstranění vosku je potřeba vytvořit na vtokové soustavě nebo modelu pomocné výtokové otvory, obr.16. Aby bylo možno pomocné výtokové otvory vytvořit bez poškození odlitku, musí mít model výstupku vhodný tvar. Po vytavení vosku se pomocné výtokové otvory důkladně zatmelí.



Obr.16. Znázornění výtokových otvorů.[1]



### 3.3.4 Regenerace a rekonstituce vosků

Hospodářské a ekologické trendy vedly k tomu, že obnova vosků patří k podstatné části obchodní činnosti dodavatelů. Dříve to byla pouze jako ekonomicky výhodná alternativa pro výrobu vtoků a nálitků. Vlivem konkurence nutnost ušetřit na spotřebním materiálu se zvýšila poptávka po cenově výhodných produktech. Dnes mají regenerované vosky stejné vlastnosti jako panenské vosky. Systém regenerace a rekonstituce vosků nabízí velkou úsporu nákladů a má velké výhody co se týče ekologie.

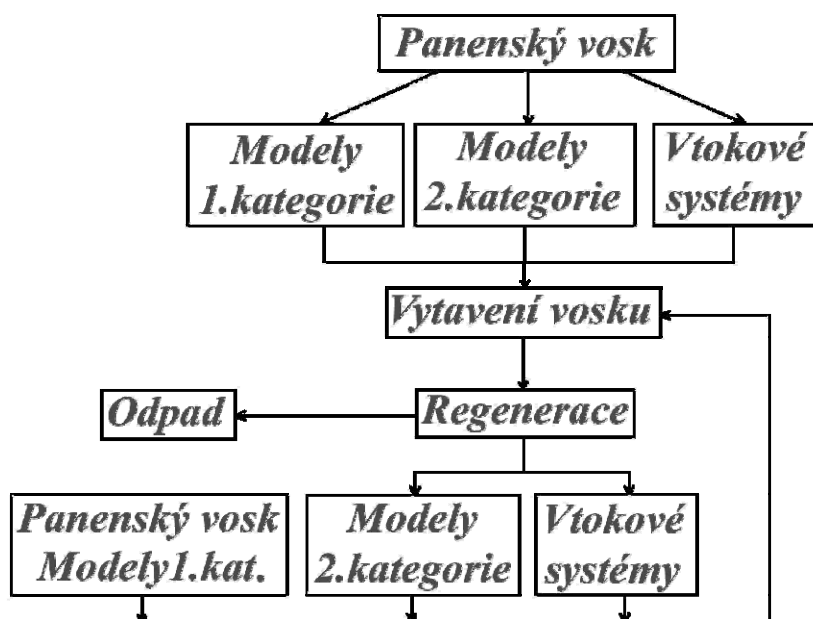
#### Regenerace vosků

Regenerace vosků se provádí několika způsoby, princip regenerace je uveden na obr. 17.

Sedimentace spočívá v tom, že se vosk roztaví a ponechá se v tekutém stavu. Voda, ker.nečistoty a plnivo, které mají větší hustotu, tak se usadí na dně. Po určité době se dá vosk odlít a znovu použít. Tato metoda je poměrně časově náročná, musí se dodržet přesnost při nastavení teploty, aby nedošlo ke znehodnocení vosku.

Filtrace využívá filtračního lisu, kde je vosk z autoklávu přečerpán přes lis. Vosk teče přes filtrační textilií a plnivo, keramické nečistoty a spaliny se usadí na textilií. Zachycené nečistoty jsou poté podle předpisů zlikvidovány. Po zaplnění lisu je tok vosku přerušen, lis otevřen a vyčištěn.

Odstředivý způsob se využívá v případě, kdy je obsah plniva ve vosku vyšší. Vosk je z autoklávu přečerpán do vysokorychlostní centrifugy, kde se částice s vyšší hustotou než vosk se oddělí, nevýhoda je, že částice s podobnou hustotou zůstávají ve vosku a odstředěný vosk obsahuje vyšší podíl popela než vosk filtrovaný.[1]

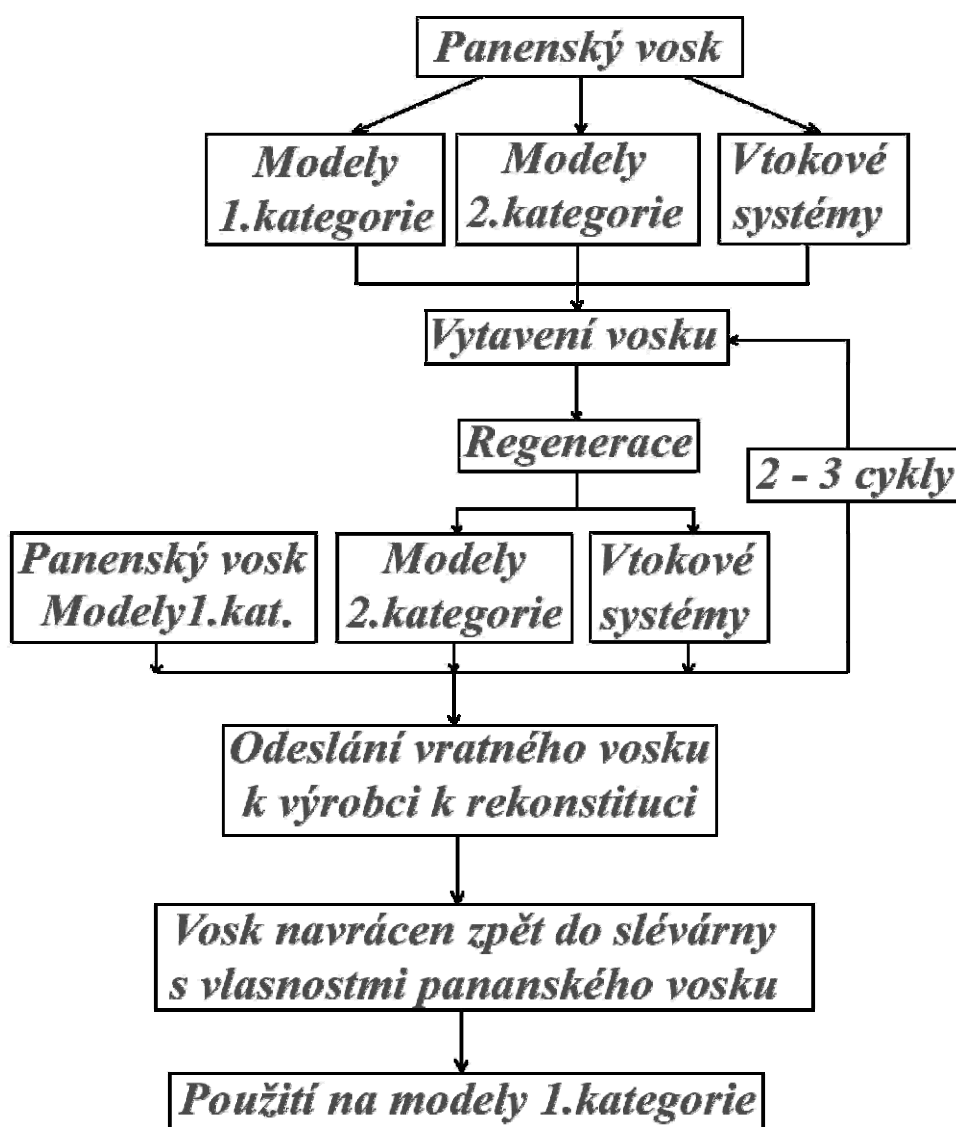


Obr. 17 Schéma regenerace vosků.[2]

### **Rekonstituce vosků**

Rekonstituce vosků (obr. 18) je proces, při kterém buď vosk vytavený slévárnou v autoklávu nebo použitý vosk známého složení může být vyčištěn a smíchán s novými surovinami na dohodnutou specifikaci a vrácen pro použití k výrobě modelů. Využívá se zejména pro výrobu modelů 1.kategorie. Rekonstituovány mohou být všechny druhy vosků( neplněný, emulgovaný, plněný).

Rozdíly mezi rekonstituovaným a panenským voskem jsou v kvalitě a specifikaci žádné. Ale v ceně je rekonstituovaný o 30-35% levnější než panenský.[1]



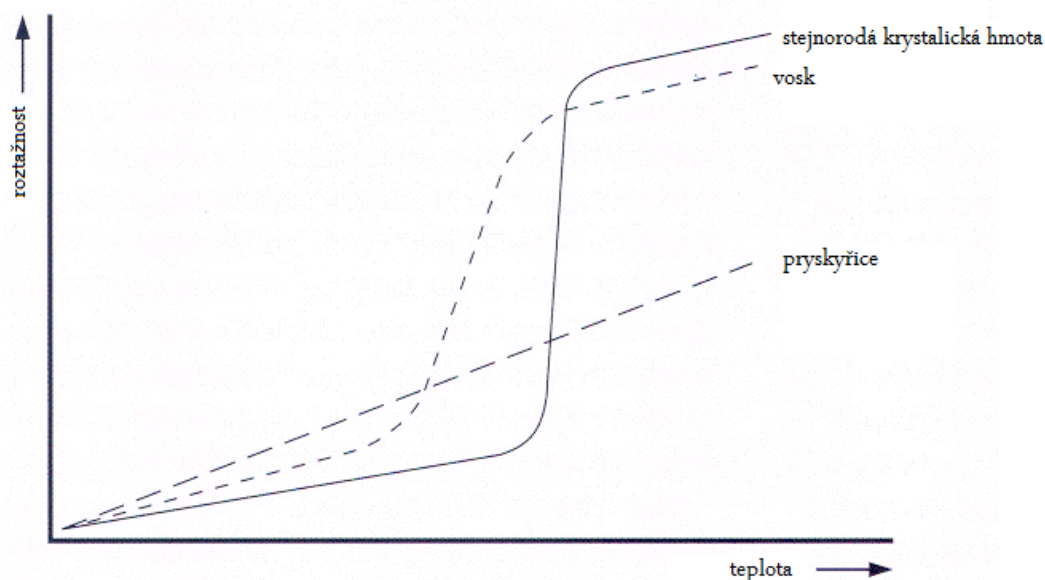
Obr. 18. Princip rekonstituce vosků.[2]

### 3.4 Vady voskového modelu

Při této technologii vznikají rozměrové a geometrické nepřesnosti. Dalším faktorem, který ovlivňuje koncové rozměry voskového modelu je jeho deformace. Vyskytuje se hlavně u silnostěnných modelů a u voskových modelů, které mají různou tloušťku stěn.

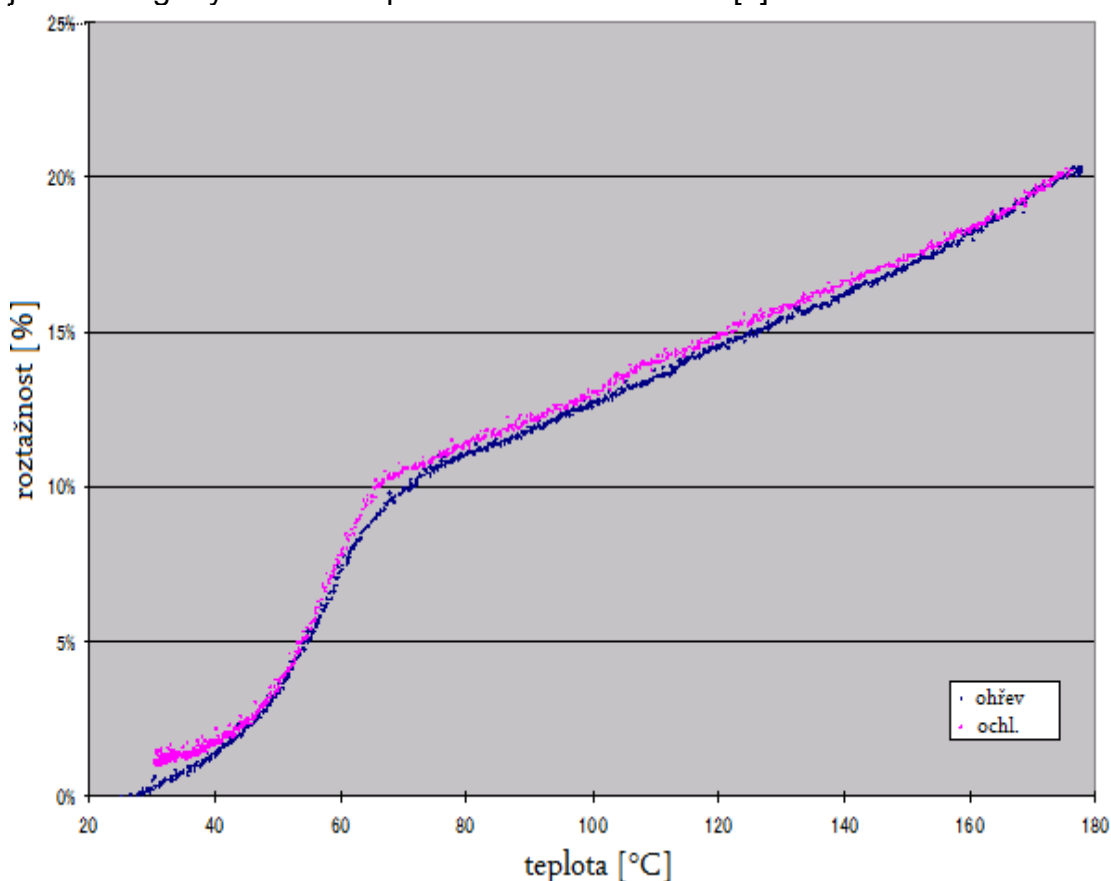
#### 3.4.1 Rozměrová změna voskového modelu

Rozměrová stabilita voskového modelu je základním předpokladem výroby konečného odlitku s požadovanými rozměry. Konečné rozměry a dosažená přesnost voskových modelů závisí na způsobu výroby, která se nejčastěji vyrábějí vstřikováním voskové směsi do matečné formy. Vstřikovací parametry a jejich změny jsou prakticky jedinou možností jak ovlivnit koncové rozměry. Výsledný rozměr závisí na typu voskové směsi, tvaru a rozměru součásti a způsobu výroby voskového modelu. Na obr. 19 je uveden základní graf závislosti roztažnosti na teplotě. Z křivek tepelné roztažnosti usuzujeme, že se vzrůstající vstřikovací teplotou roste i smrštění modelů. Struktura a chemické složení voskové směsi má vliv na její roztažnost i smrštění. Průběh smrštění či roztahování není v teplotním intervalu lineární, ale mění se podle struktury dané směsi.[4]

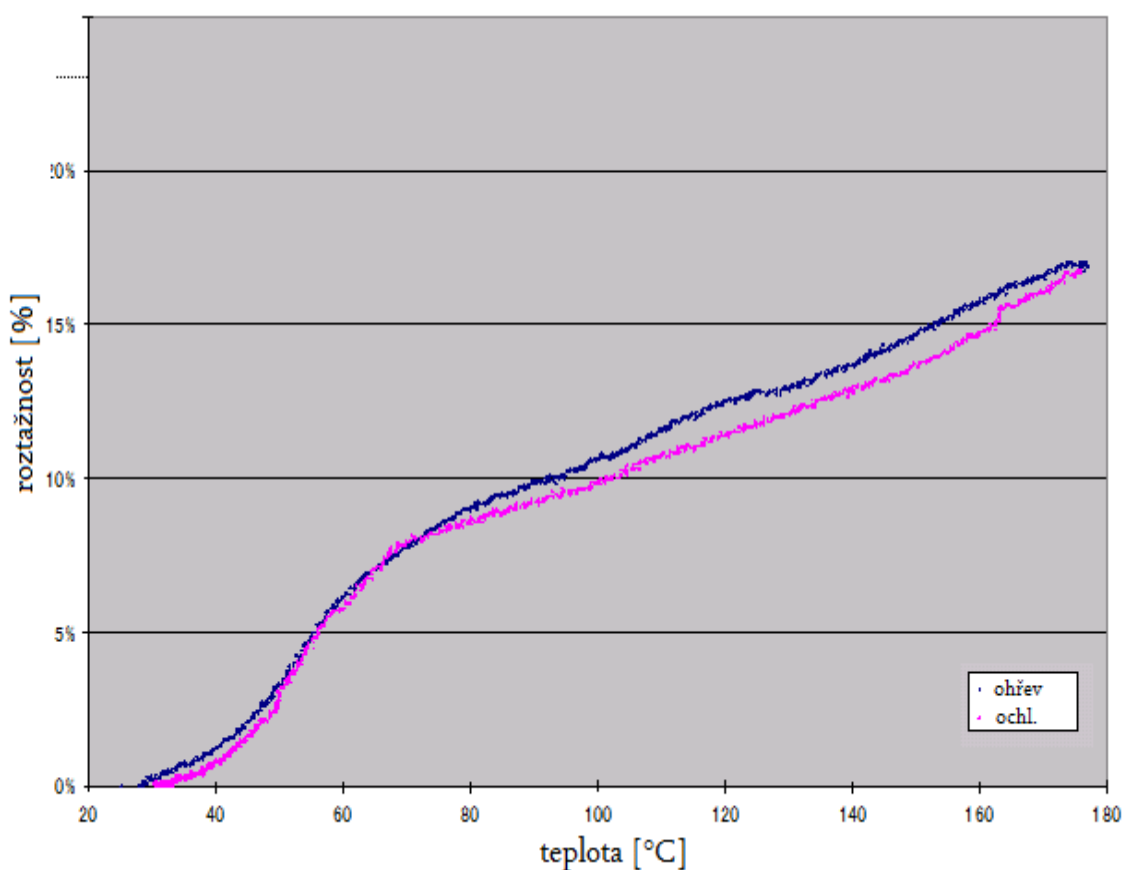


Obr. 19 Graf závislosti roztažnosti na teplotě.[2]

Měření roztažnosti je prováděno na přístrojích tzv. dilatometrech. Zahřátí nebo ochlazení vosku způsobí pohyb pístu, který je měřen laserem a snímáno v časových intervalech. Při expanzi vosku se píst zdvihne a laserový paprsek zaznamená vzdálenost, o kterou se píst posunul. Nádoby dilatometrů jsou ohřívány za použití cirkulace oleje. Teplota lázně a nádoby je snímána počítačem, kterým je ovládána také rychlost ohřevu. Výsledky jsou zaznamenávány do grafů. Na následujících obrázcích jsou znázorněny jednotlivé grafy získané experimentálním měřením.[6]



Obr. 20 Tepelná roztažnost přímého vosku.[6]



Obr. 21. Tepelná roztážnost plněného vosku.[6]

### 3.4.2 Deformace voskového modelu

Voskové modely se ihned po vyndání z matečné formy deformují a tím způsobují nemalé problémy, co se týče tvarových a rozměrových změn. Jedním ze způsobů jak deformacím zabránit je tzv. bržděné tuhnutí. Jedná se o to, že se voskový model hned po odlisování a vyndání z matečné formy umístí do fixačního přípravku. Toto opatření se v praxi běžně používá u modelů, které jsou náchylné k deformacím vznikajících při chladnutí.

Voskové modely se sestavují z jednodušších částí různých tvarů a tloušťek. Jednotlivé části modelů nechladnou a nesmršťují se volně a ani současně. Při jejich nesoučasném chladnutí a smršťování vznikají mezi jednotlivými místy voskového modelu rozdíly v rozměrech, které způsobují napětí nebo deformaci, čili – zborcení.[3]



#### 4 ZÁVĚR:

Technologie vytavitelného modelu je v současnosti velmi používanou metodou výroby specifických druhů výrobků, které by nebylo možno jinou metodou vyrobit, nebo by výroba byla velmi nákladná. Tato technologie hraje nezastupitelnou roli v současné výrobě, na kterou jsou kladeny větší požadavky na přesnost výrobku a použití materiálů. Největší výhodou této technologie je variabilita tvarů a materiálů vhodných k odlití. Tato metoda spočívá v totožnosti tvaru voskového modelu s výsledným odlitkem. Výroba voskového modelu je relativně jednoduchá vzhledem k jeho možným tvarům. Dříve se voskové modely odlévaly do formy, v současnosti se využívá tzv. vstřikolisů, tím se podstatně zlepšila kvalita a progresivita. Výroba formy, do které se vosk odlévá, je poměrně nákladná. Na jakosti povrchu matečné formy velmi záleží, protože případné povrchové nedostatky se projeví na finálním výrobku. Na materiály voskových modelů jsou kladeny vysoké požadavky a neustále se vyvíjí nové kvalitnější směsi. Recyklace použitých voskových směsí dnes zaujímá vyšší postavení než tomu bylo v minulosti, a to nejen z hlediska ušetření financí, ale nemalý důraz je kladen i na ekologickou likvidaci. Vosk, jako homogenní látka má dnes užší použití, většinou pro výrobu vtokových kúlů a jako lepidlo pro spojování jednotlivých modelů ke stromečku. Pro výrobu jednotlivých modelů se používají směsi vosku a pryskyřic s různými plnivy, čímž se podstatně zlepší vlastnosti, jako je zejména jakost povrchu a teplotní roztažnost. Ta způsobuje v modelu tvorbu napětí, která jsou kvůli nerovnoměrnosti modelu různá a to vede za následek tvorbu deformací, které jsou pochopitelně nežádoucí a snahou je tyto nežádoucí projevy zmírnit.





**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

[1] HERMAN, Aleš. Lití na vytavitelný model. *ČVUT Praha*, cit. 2009-05-20] 30s. Dostupný z WWW: <stc.fs.cvut.cz>.

[2] HORÁČEK, Milan. Současné trendy v technologii vytavitelného modelu. *VUT Brno : Obor slévárenství ÚST* [online]. 2006 [cit. 2009-05-20], 46s.

[3] KRACMAN, Ondřej. Faktory ovlivňující přesnost odlitků u metody voskového modelu. *ČVUT Praha*: 10 s, Dostupný z WWW: <stc.fs.cvut.cz>.

[4] HORÁČEK, Milan. *Přehled vosků pro vytavitelné lití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 15s

[5] HIRST, Richard. *Wax Chemistry, Properties and Selection*. Düsseldorf. 2004

[6] HORÁČEK, Milan. *Roztažnost vosků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008